

생석회-규사-수계 및 시멘트 슬러지-규사-수계에서 Tobermorite의 수열합성에 관한 연구

노재성*·홍성수**·조현영**·최상원***

*충남대학교 공과대학 정밀공업화학과

**충남대학교 공과대학 화학공학과

***여수수산대학 화학공학과

(1992년 10월 24일 접수, 1993년 5월 10일 채택)

A Study on the Hydrothermal Synthesis of Tobermorite in the System of $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ and Cement Sludge- $\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$

Jae-Seong Rho,* Seong-Su Hong,** Heon-Young Cho,** and Sang-Won Choi***

*Dept. of Fine Chemicals Eng. and Chem., College of Eng.,

Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

**Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

***Dept. of Chem. Eng., Yosu National Fisheries College, Yosu 550-180, Korea

(Received October 24, 1992, Accepted May 10, 1993)

요약: 생석회-규사-수계 및 시멘트 슬러지-규사-수계에서 1.13nm tobermorite를 수열합성하였다. 생석회-규사-수계의 경우 반응온도 180°C, CaO/SiO_2 의 몰비 0.4, 0.8에서 공히 양질의 tobermorite($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$)가 형성되었으나 CaO/SiO_2 의 몰비 0.4일 때는 반응시간 6시간에서, 0.8일 때는 4시간에서 결정전이 현상이 관찰되었다.

그러나 시멘트 슬러지를 생석회 대신 전량 사용한 시멘트 슬러지-규사-수계는 동일한 몰비에서 반응시간 10시간 이내에 결정전이 현상이 나타나지 않았는데 이는 시멘트 슬러지로부터 용출되어 나온 알루미늄 이온의 지역작용으로 판단되며 생석회-규사-수+알루미늄계에서 확인되었다. 알루미늄 분말의 첨가량이 0.8에서 3.0%로 증가함에 따라 결정은 보다 넓고 평평하게 형성되었다. 또한 동일한 반응시간 내에서 재결정화 현상이 관찰되지 않았다.

Abstract: Hydrothermal synthesis of 1.13nm tobermorite was performed to obtain the mixing ratio of raw materials, the optimum reaction time and the effect of aluminum in two systems, $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ and cement sludge- $\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. 1.13nm tobermorite($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$) was synthesized excellently from $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ system on each mole ratio (0.4, 0.8) of CaO/SiO_2 at 180°C. But a tobermorite crystals had a sign of crystal conversion after 6 hours of reaction times in the case of $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ and 4 hours of reaction times in the case of $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$. However, a tobermorite synthesized from cement sludge wastes did not show the crystal conversion on each mole ratio(0.4, 0.8) of CaO/SiO_2 within 10 hours of reaction times. It is considered that aluminum ions dissolved from cement sludge wastes retarded the recrystallization of tobermorite. This role of aluminum ion was confirmed in $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}+\text{Al}$ powder system. According as added amount of Al powder was increased from 0.8% to 3.0%, the crystal had a highly flatter and larger shape. Recrystallization was not detected within the same reaction times when aluminum was added.

1. 서 론

고온고압의 물이 화학반응에 관여하는 경우 수열반응(Hydrothermal Reaction)이라 하고, 이 반응을 이용하여 특정재료를 합성하는 것을 수열합성(Hydrothermal Synthesis)이라 한다.

초기의 수열합성 연구에서는 200°C 이상의 고온과 이에 따르는 고압이 이용되어 상당한 문제점을 갖고 있었으며 원하는 생성물의 조성에 상응하는 복잡한 반응물질의 구성을 유지하였기 때문에 반응과정의 해석에 어려움이 많았다. 또한 수열반응에서 물의 역할을 정확히 파악하지 못하여 재현성에도 문제가 있었다[1].

그러나 최근에는 수열반응을 정확히 이해함으로써 수열처리, 수열결정성장(Hydrothermal Crystal-growth)[2], hydrothermal metamorphism, 수열탈수, 수열분해, 수열추출, 수열산화[3], hydrothermal sintering 등 다양한 응용기술이 개발되고 있다[4, 5, 6]. 특히 최근 수열합성에 의하여 세제 builder 및 촉매로서의 제올라이트[1], 경량기포콘크리트에서 강도발현에 중요한 역할을 하는 tobermorite[7, 8, 9], 열적특성이 뛰어나면서 단열성능이 우수한 중공구조 형태의 xonotlite 등의 규산염이 제조되고 있다.

규산칼슘은 석회와 규사의 반응에 의하여 CaO/SiO₂의 몰비, 수열합성 온도, 압력 및 반응시간 등에 따라 다양한 종류가 얻어진다. 본 연구에서 수열합성하고자 하는 tobermorite(5CaO · 6SiO₂ · 5H₂O : C₅S₆H₃)은 single chain 구조를 갖는 규산염으로 CaO/SiO₂가 0.8일 때 반응온도가 65–75°C이면 1.4nm의 결정이, 120–180°C이면 1.1nm의 결정이 생성된다[10, 11, 12].

이와 같은 tobermorite를 주된 결정으로 제조되는 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete : 경량 기포 콘크리트)[13]는 경량성(비중 : 0.5–0.8), 단열성(열 전도도 : 0.08–0.12kcal/mh°C), 차음성, 시공의 용이성 등 건축재료로서의 뛰어난 특성때문에 그 활용도와 수요량이 꾸준히 증가하고 있으며 국내에서도 건축기술의 다양화 및 인력동향에 따라 ALC 공장설립이 급속히 추진중에 있어 생산 및 사용량이 지속적으로 신장세를 유지할 것으로 예측된다. 현재 국내에서는 91년 5월부터 제품을 생산하고 있는 업체를 포함하여 8개 업체에서 년간 92만 m³의 ALC 생산을 위하여 공장설립을 추진중에 있으나 설비 및 기술업체

를 외국에서 도입하고 있는 실정이다.

본 연구의 목적은 ALC 제조시 시멘트 슬러지 폐기물을 생석회 대신 이용하고자[14] 강도발현에 중요한 기여를 하는 1.13nm tobermorite 결정의 생성 여부를 CaO/SiO₂의 몰비, 반응시간 등을 조절하면서 180°C에서 수열합성하여 생석회–규사–수계와 비교함으로써 원료대체의 타당성을 확인하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

규사는 국내 K사에서 생산하는 ALC용 천연 규사를 사용하였으며 Fig. 1과 Table 1에 입도분포 및 화학조성을 각각 나타내었다.

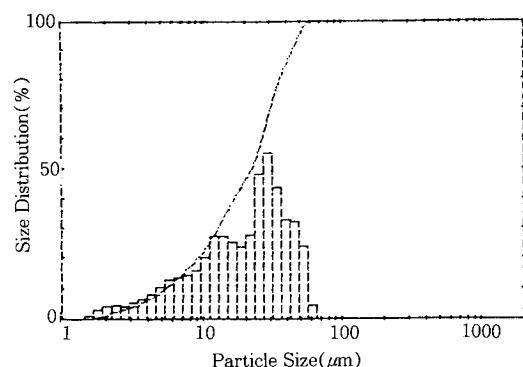


Fig. 1. Particle size distribution of silica.

Table 1. Chemical Compositions of Silica

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig. Loss	Micell.	Total
wt. %	91.88	4.98	0.56	0.28	0.89	0.90	0.60	100

생석회는 국내 J사 제품을 이용하였으며 F-CaO의 함량이 84.0%, T-CaO의 함량이 92.23%의 조성을 갖고 있으며 구체적인 화학조성을 Table 2에, 입도분포를 Fig. 2에 나타냈다.

Table 2. Chemical Compositions of Quick Lime

Comp.	Ca(OH) ₂	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
wt. %	ND	3.00	0.50	0.34	0.37
Comp.	S	P	T-CaO(F-CaO)	Mice.	Tot.
wt. %	ND	2.6	92.23(84.00)	0.86	100

ND : Not Detected

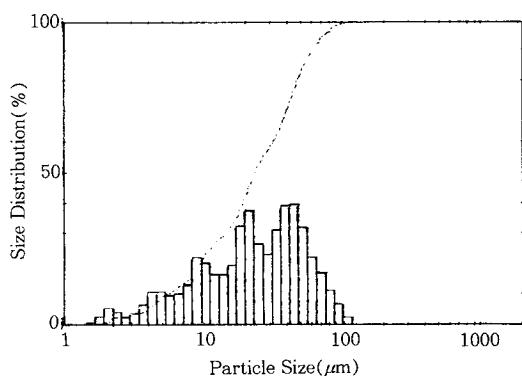


Fig. 2. Particle size distribution of quick lime.

시멘트 슬러지는 H사의 1차 침전조에서 회수하여 70°C에서 24시간 건조하여 사용하였으며 화학조성을 Table 3에, 입도분포를 Fig. 3에 나타냈다.

Table 3. Chemical Compositions of Cement Sludge Wastes

Comp.	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
wt. %	39.06	26.33	4.35	2.59	1.55
Comp.	SO ₃	Ig. Loss	Micell.	Total	
wt. %	1.49	23.90	0.73	100	

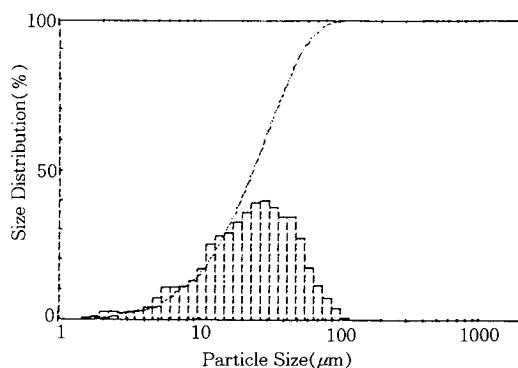


Fig. 3. Particle size distribution of cement sludge wastes.

2.2. 생석회-규사-수계의 수열합성

생석회와 규사를 이용하여 CaO/SiO₂의 몰비 0.4, H₂O/CaO의 몰비 58.97, 물/고형분비 4.63과, CaO/SiO₂의 몰비 0.8, H₂O/CaO의 몰비 29.60, 물/고형분비 4.63의 두 조건을 선택하여 PID 조절기가 부착되어 있는 실험실용 Parr Autoclave로 수열합성하였

다. 석회의 용해도는 온도의 상승에 따라 감소하고 규사의 용해도는 반대로 증가하는 특성때문에 이 둘의 용해도가 상호 일치하여 최고치에 도달하는 180°C를 합성온도로 하였으며 이 때 수증기압은 10kg/cm²이었으며, 교반기 회전 속도는 500rpm이었다. 반응시간 0시간의 시료는 180°C까지 승온시간 40분이 경과한 상태의 것으로써 이후 10시간까지 2시간 간격으로 합성을 실시하고, 급냉시킨 다음 중류수로 3~4회 세척하였다. 완전히 건조된 시료를 X-선 회절분석(Cuka, voltage : 35KV, current : 15mA)과 전자현미경 사진으로 관찰하여 1.13nm tobermorite의 합성정도와 결정전이 현상이 일어나는 시점을 관찰하였다.

2.3. 시멘트 슬러지-규사-수계의 수열합성

생석회를 시멘트 슬러지로 전량 대체하고서 기질의 몰비, 반응온도 및 반응시간 등은 생석회-규사-수계와 동일하게 수열합성하였다.

2.4. 생석회-규사-수+알루미늄계의 수열합성

시멘트 슬러지로 수열합성하였을 때 결정전이 현상이 관찰되지 않았기 때문에 그 원인을 규명하기 위해 알루미늄 분말을 총고형분에 대하여 무게비로 0.8, 1.5, 3.0% 첨가하여 생석회-규사-수계와 동일한 기질의 몰비로 180°C에서 CaO/SiO₂의 몰비가 0.4일 때 8시간, CaO/SiO₂의 몰비가 0.8일 때 6시간 수열합성을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생석회-규사-수계의 수열합성

CaO와 SiO₂를 이용하여 CaO/SiO₂의 몰비를 0.4, 0.8로 조정하고 180°C에서 시간별로 수열합성하여 1.13nm tobermorite의 생성 여부와 결정의 형태를 관찰하였다.

Fig. 4의 X-선 회절분석에서 보는 바와 같이 CaO/SiO₂의 몰비가 0.4이면 반응시간 0시간에서 CH(Ca(OH)₂)에 의한 피크가 나타나고 있으나 반응시간이 2시간 경과하면 CH의 피크가 완전히 소멸되고 아주 미약하게 1.13nm에서 tobermorite의 피크가 나타난다. 반응시간이 4시간, 6시간으로 증가하면 tobermorite 결정 피크의 세기는 약간씩 증가하고 있으나 8시간이 경과하면 반대로 급격히 감소하여 10시간에서는 거의 소실되어 있다. 이와 같은 이유는 수열합성의 특성으로 반응조건의 지속적인 유지로 인하여

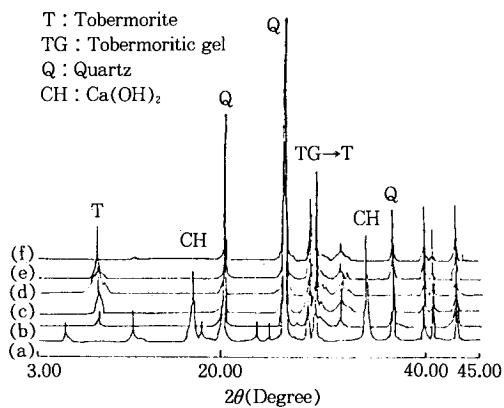


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of hydrothermally synthesized tobermorites using quick lime obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 2 hrs, (c) 4 hrs, (d) 6 hrs, (e) 8 hrs and (f) 10 hrs ($\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$, Autoclave Temp. = 180°C).

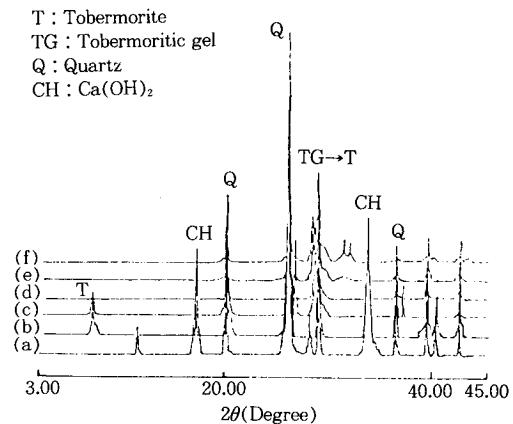
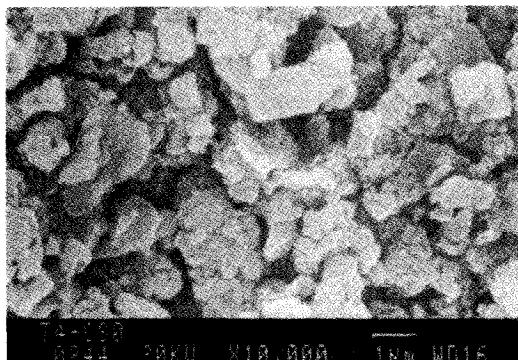


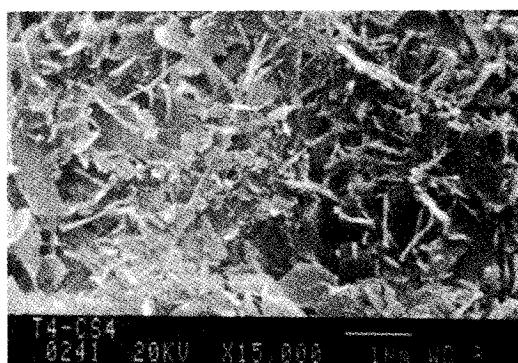
Fig. 6. X-ray diffraction patterns of hydrothermally synthesized tobermorites using quick lime obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 2 hrs, (c) 4 hrs, (d) 6 hrs, (e) 8 hrs and (f) 10 hrs ($\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$, Autoclave Temp. = 180°C).

준안정(metastable)한 상태의 1.13nm tobermorite가 보다 안정한 결정으로 바뀌기 위한 결정전이의 초기 단계로 판단되며 이러한 현상은 Fig. 5의 주사 전자 현미경 사진에 의해서도 확인되었다.

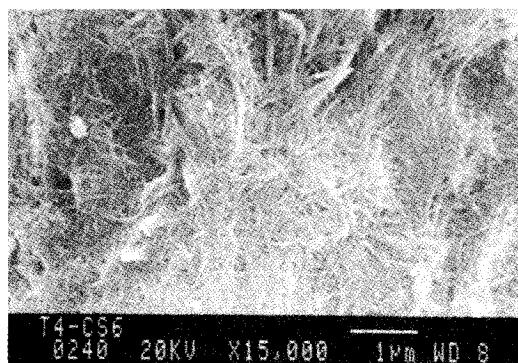
(a)는 반응시간 0시간의 시료로써 반응이 진행되지 않아 원료물질의 성상을 그대로 유지하고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. SEM photographs of hydrothermally synthesized tobermorites using quick lime obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 4 hrs and (c) 6 hrs ($\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$, Autoclave Temp. = 180°C).

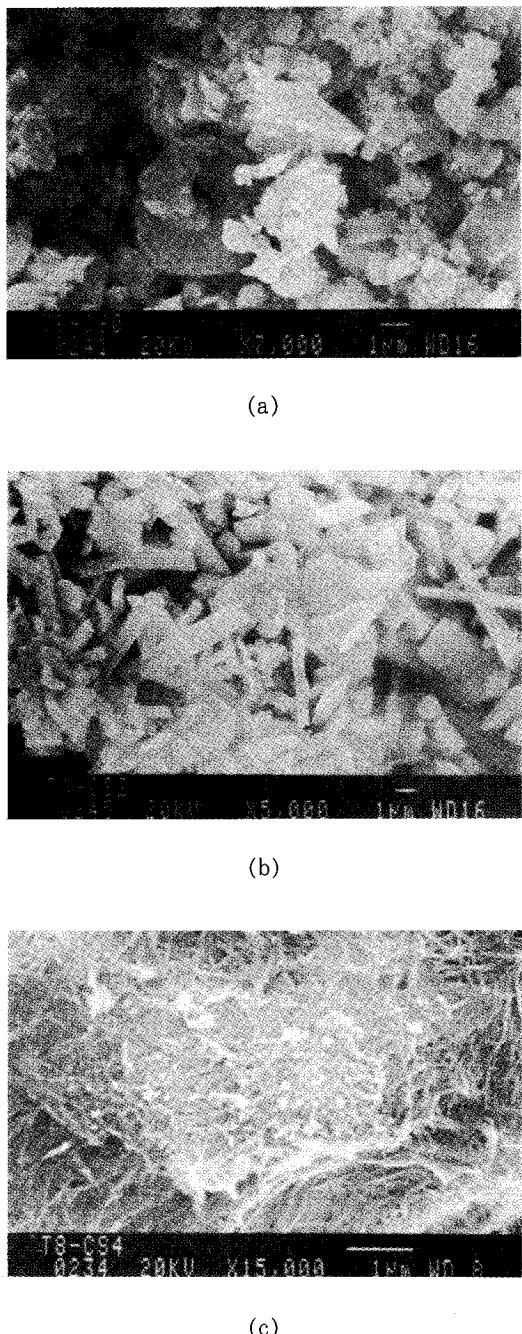


Fig. 7. SEM photographs of hydrothermally synthesized tobermorites using quick lime obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 2 hrs and (c) 4 hrs($\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$, Autoclave Temp.= 180°C).

그러나 반응시간이 경과하면 양질의 lath상 tobermorite 결정이 생성되어 반응시간 4시간까지 양호하게 관찰이 되다가 반응시간이 6시간 이상 경과하면 재 결정화 현상이 나타나 결정형태가 원취형으로 전환되어 있음을 알 수 있다.

그러나 CaO/SiO_2 의 몰비를 0.8로 하면 이와 같은 현상은 더욱 빠르게 된다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 반응시간 0시간에서는 CaO/SiO_2 의 몰비 0.4일 때와 전혀 차이가 없으나 반응시간 2시간에서는 1.13nm의 tobermorite 결정이 생성되었다가 4시간에서는 다시 감소하기 시작하여 6시간에서부터는 완전히 소실된다.

이러한 결과는 Fig. 7의 주사 전자 현미경 사진으로도 확인 가능하다. 반응시간 0시간에서는 CaO/SiO_2 의 몰비 0.4와 동일하게 원료물질의 성상을 유지하나 반응시간 2시간에서는 원료 물질의 결정이 전환되어 plate상의 1.13nm tobermorite가 생성되어 있다. 반응시간 2시간에서 생성된 결정의 형태 자체가 CaO/SiO_2 의 몰비가 0.4일 때와 전혀 다를 뿐 아니라 결정전이 현상도 반응시간 4시간에서 확연히 관찰되어 10시간까지 지속되고 있다. 결국 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ 일 때와 비교하면 tobermorite의 결정전이 속도가 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$ 일 때 2~4시간 빨랐다.

3. 2. 시멘트 슬러지-규사-수계의 수열합성

ALC 제조 원료로 사용되는 생석회를 시멘트 슬러

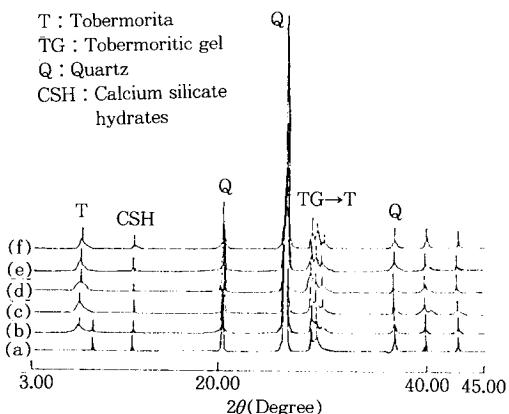
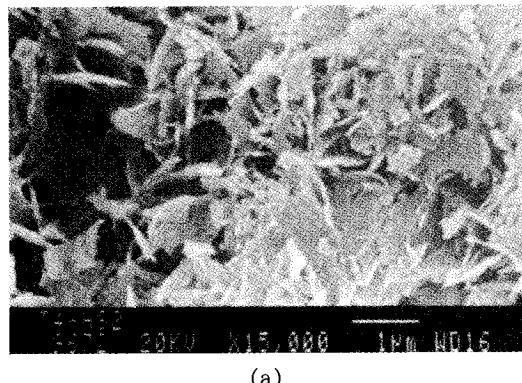


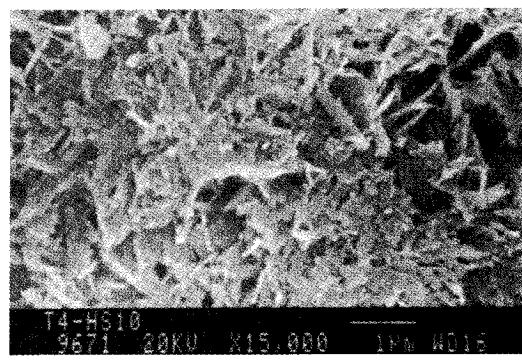
Fig. 8. X-ray diffraction patterns of hydrothermally synthesized tobermorites using cement sludge wastes obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 2 hrs, (c) 4 hrs, (d) 6 hrs, (e) 8 hrs and (f) 10 hrs($\text{CaO}(\text{sludge})/\text{SiO}_2=0.4$, Autoclave Temp.= 180°C).

지로 대체하기 위한 가능성을 알아보기 위하여 생석회-규사-수계에서 생석회 전량을 시멘트 슬러지로 대체하여 수열합성하였다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 반응시간 0시간에서는 tobermorite의 결정피크가 관찰되고 있지 않으나 2시간부터 10시간까지는 동등한 세기의 1.13nm tobermorite 피크가 나타나고 있다. $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ 에서는 반응시간의 경과에 따라 tobermorite 특성 피크의 세기가 변화하였으나 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ 에서는 반응시간의 경과에 따라 피크의 세기가 전혀 차이가 없다. 결국 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ 에서는 반응시간 6시간 이후부터 결정전이 현상이 관찰되었으나 $\text{CaO}/\text{Slurry}/\text{SiO}_2=0.4$ 에서는 10시간까지 이러한 현상이 없었으며 Fig. 9의 주사전자 현미경 사진에 의하여 확인되고 있다. 반응시간 2시간에서 10시간까지 양질의 1.13nm



(a)



(b)

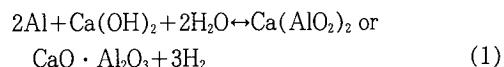
Fig. 9. SEM photographs of hydrothermally synthesized tobermorites using cement sludge wastes at different reaction times of (a) 2 hrs, (b) 10 hrs($\text{CaO}(\text{sludge})/\text{SiO}_2=0.4$, Autoclave Temp.=180°C).

tobermorite 결정이 관찰되고 있다.

Tobermorite가 재결정화하기 위한 결정전이 현상은 $\text{CaO}(\text{슬러지})/\text{SiO}_2$ 의 몰비를 0.8로 높여도 발생되고 있지 않음을 Fig. 10의 X-선 회절분석으로 알 수 있다. $\text{CaO}(\text{슬러지})/\text{SiO}_2=0.4$ 일 때와 동일하게 반응시간의 경과에 영향을 받지 않고 1.13nm tobermorite 특성 피크가 균일하게 계속 나타나고 있으며 Fig. 11의 주사 현미경 사진으로도 확인이 가능하다.

결국 시멘트 슬러지-규사-수계에서 결정전이 현상이 동일한 시간내에 관찰되지 않음은 규사에도 Al_2O_3 가 존재하나 시멘트 슬러지에 포함되어 있는 가용성이 높은 Al_2O_3 가 결정전이 현상을 더욱 지연시킨 것으로 판단된다.

수열합성에서 양쪽성 산화물(Amphotereric Oxides; Al_2O_3 , B_2O_3 , Ga_2O_3 , ZnO)이 공존하게 되면 원료의 용해도를 변화시켜 반응속도에 영향을 미치게 된다[1]. 본 연구에서와 같이 알루미늄 분말을 첨가하면 (1)식의 반응식과 같이 알루미늄이 CaO 와 반응하여 수소 가스를 발생하고 용해되어 있는 Al_2O_3 의 양쪽성 산화물을 형성한다.



그러나 생석회-규사-수계의 수열합성에서 Al_2O_3 의 존재에 따른 tobermorite의 결정 생성은 출발 원료물질의 종류에 따라 두 가지가 가능한 것으로 알려

T : Tobermorite
TG : Tobermoritic gel
Q : Quartz
CSH : Calcium silicate hydrates

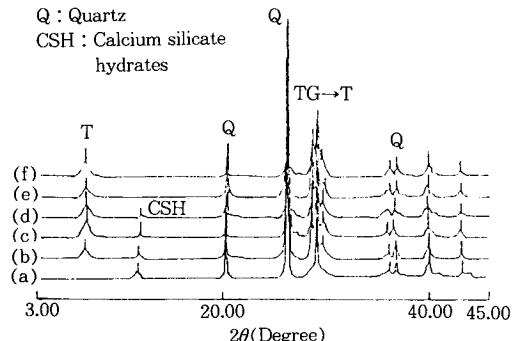


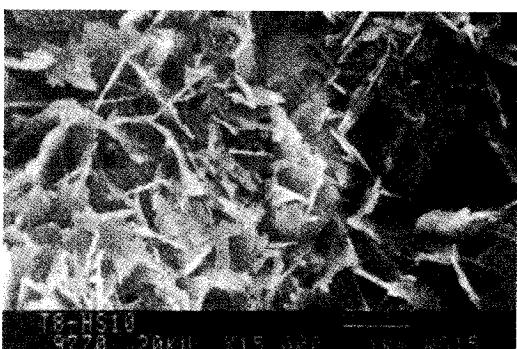
Fig. 10. X-ray diffraction patterns of hydrothermally synthesized tobermorites using cement sludge wastes obtained at different reaction times of (a) 0 hr, (b) 2 hrs, (c) 4 hrs, (d) 6 hrs, (e) 8 hrs and (f) 10 hrs($\text{CaO}(\text{sludge})/\text{SiO}_2=0.8$, Autoclave Temp.=180°C).

지고 있다[15]. 하나는 수열합성의 일반적인 이론에 부합되는 규사의 용해도 증진에 의한 반응속도의 촉진이며, 다른 하나는 규사의 용해도를 감소시켜 반응을 지연시키는 경우가 있다. Al_2O_3 의 존재하에 silica의 원료로서 colloidal silica, silica sol 등을 사용하면 반응속도가 크게 촉진되나 결정성 규사(입경 5~30 μm)를 사용하면 반대로 규사의 용해도가 급격히 감소하여 반응속도가 지연되며 결정전이 현상이 늦어지게 된다. 이와 같은 원인 외에도 시멘트 슬러지는 충분한 물과 접촉하여 부분적으로 수화되는 과정에서 결정성이 낮은 규산염 겔이 형성되어 있기 때문에 재결정화에 따른 지연효과도 있는 것으로 사료된다.

따라서 시멘트 슬러지를 ALC 원료로 사용하면 강



(a)



(b)

Fig. 11. SEM photographs of hydrothermally synthesized tobermorites using cement sludge wastes obtained at different reaction times of (a) 2 hrs and (b) 10 hrs(CaO(sludge)/ SiO_2 =0.8, Autoclave Temp.=180°C).

도발현에 중요한 역할을 하는 tobermorite 결정의 생성에 전혀 문제점이 없으며 결정전이를 지연시켜 ALC 제조공정을 안정화시키는 부수적인 효과도 기대된다.

3. 3. 생석회-규사-수계+알루미늄계의 수열합성

시멘트 슬러지를 이용한 수열합성에서 결정전이 현상이 지연되는 이유를 알아보기 위하여 생석회-규사-수계에 알루미늄 분말을 중량비로 0.8, 1.5, 3.0 % 첨가하고 수열합성하였다.

CaO/SiO_2 의 몰비가 0.4일 때는 반응시간 6시간에서, 0.8일 때는 반응시간 4시간에서 결정전이 현상이 관찰되었다. 그러나 알루미늄 분말을 중량으로 0.8% 첨가하면 $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$ 로 8시간, $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$ 로 6시간 수열합성하여도 재결정화 현상이 관찰되고 있지 않음을 Fig. 12의 X-선 회절분석과 Fig. 13의 주사 현미경 사진에 나타냈다.

또한 가용성의 Al_2O_3 존재하에서 형성된 tobermorite의 결정은 X-선 회절분석도에서 (002)면, 즉 $2\theta = 1.13\text{nm}$ 의 결정격자 간격 d 값이 알루미늄의 첨가량이 늘어남에 따라 증가하고 있음을 Fig. 14에 나타냈다[11]. 알루미늄의 첨가량이 증가함에 따라 b축 방

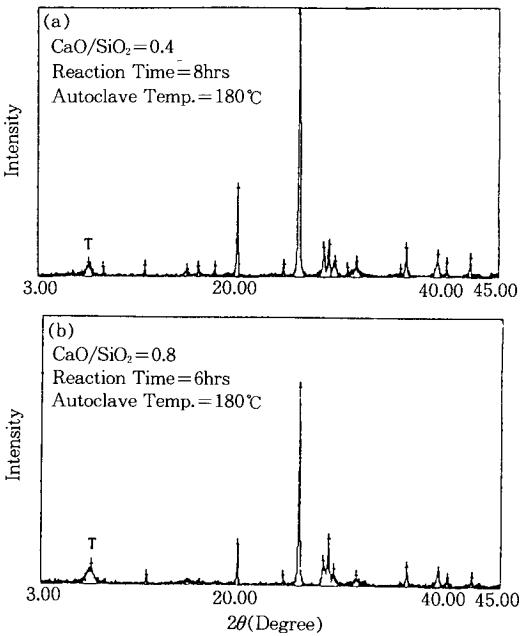


Fig. 12. X-ray diffraction patterns of tobermorites produced from quick lime in the presence of Al powder(0.08wt. %).

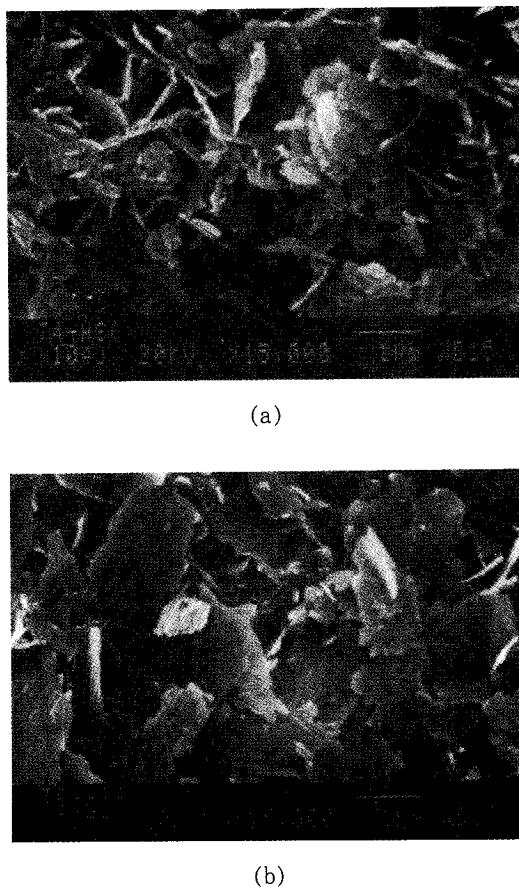


Fig. 13. SEM photographs of tobermorites produced from quick lime in the presence of Al powder(0.08wt. %).

- (a) $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4$, Reaction Time=8 hrs, Autoclave Temp.=180°C
- (b) $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.8$, Reaction Time=6 hrs, Autoclave Temp.=180°C

향의 성장이 신장되어 알루미늄이 첨가되지 않은 생석회-규사-수계 보다 좀더 넓고 평평한 결정이 형성되었음을 Fig. 5의 (b), Fig. 9, Fig. 11과 Fig. 13의 주사 전자 현미경 사진을 상호비교함으로 쉽게 알 수 있다.

4. 결 론

생석회-규사-수계에서 CaO/SiO_2 의 몰비를 0.4와 0.8로 조정하고 180°C에서 수열합성하였을 때 공

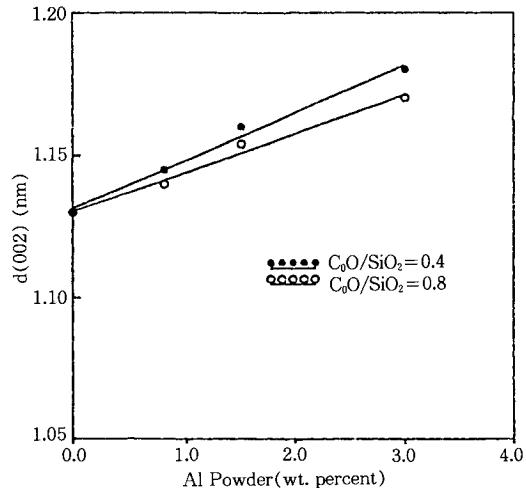


Fig. 14. Variation of $d(002)$ values of tobermorites as a function of aluminum contents(Auto-clave Temp.=180°C, Reaction Time=8 hrs, $\text{CaO}/\text{SiO}_2=0.4, 0.8$).

히 1.13nm의 tobermorite 결정이 생성되었으나 0.4 일 때는 6시간에서 0.8일 때는 4시간에서 결정전이 현상이 나타났다.

그러나 시멘트 슬러지를 생석회 대신 사용하면 $\text{CaO}(\text{슬러지})/\text{SiO}_2$ 의 몰비를 0.4, 0.8로 변화시켜도 반응 시간 10시간까지 결정전이 현상이 나타나지 않고 양질의 lath상 1.13nm tobermorite 결정이 관찰되었다. 이는 시멘트 슬러지의 가용성 Al_2O_3 에 의한 결정전이 지연작용으로 판단된다.

시멘트 슬러지를 이용한 수열합성에서 결정전이 현상이 지연되는 이유를 알아보기 위하여 생석회-규사-수계에 알루미늄 분말을 첨가하고 수열합성 한 결과 결정전이가 지연되었으며 첨가량이 증가함에 따라 $d(002)$ 값이 증가하여 b축 방향의 성장이 촉진되었다.

따라서 시멘트 슬러지를 ALC 제조용 원료에서 생석회 대신 사용하여도 전혀 문제가 없으며 제조공정의 안정화에도 기여할 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 1991년 상공부 공업기반기술과제 연구 결과로 연구비를 지원하여준 상공부에 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

1. R. M. Barrer, "Hydrothermal Chemistry of Zeolites," Academic Press INC., London(1982).
2. P. Bettermann and F. Liebace, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 53, 25(1975).
3. H. Toraya, M. Yoshimura, and S. Somiya, *J. Am. Ceram. Soc.*, 66, 148(1983).
4. Y. Fujiki, T. Mitsuhashi, and Y. Suzuki, *J. Am. Ceram. Soc.*, 55, 223(1972).
5. E. Tani, M. Yoshimura, and S. Somiya, *J. Am. Ceram. Soc.*, 64, C-181(1981).
6. Stefania Grzeszczyk and Jadwiga Szuba, *J. Am. Ceram. Soc.*, 73, 2006(1990).
7. 御代健次郎, 長山貌一, セラミックス, 13, 96(1978).
8. 光田武, セラミックス, 23, 748(1988).
9. P. S. Laad, *Chem. Eng. World*, 7, 65(1971).
10. 光田武, セ技年報, 30, 41(1976).
11. 浦部和順, 宇田用重和. 井用傳行, セ技年報, 38, 54(1984).
12. 浦部和順, 宇田用中和. 井用傳行, セ技年報, 37, 33(1983).
13. 盧載星, 월간세라믹스, 6, 219(1992).
14. 盧載星, 洪性秀, 趙憲英, 地域開發論叢, 忠南大學 地域開發研究所, 3, 1(1992).
15. 崎山正人, 光田武, セ技年報, 31, 46(1977).